

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Plazmový hořák se zařízením na podávání vsázky  
Plasma torch and charging feeder assembly

Student:

Bc. Jiří Hamáček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2012

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....  
podpis

Jiří Hamáček

Kujavy 186, 742 44

## Anotace diplomové práce

HAMÁČEK, J. Plazmový hořák se zařízením na podávání vsázky. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 53 s. Diplomová práce, vedoucí Ing. Noga, Z., CSc.

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce plazmového hořáku se závislým elektrickým obloukem a dutou katodou umožňující použití tří druhů vsázky – tyč, drát, zrno s využitím tří typů podavačů. V návrhu konstrukce bylo užito metodického postupu a zkušeností z práce hořáku s plnou katodou. V návrhu bylo užito MKP pro teplotní analýzu katody a pevnostní analýzu zásobníku vsázky a stojanu.

## Annotation of Master thesis

HAMÁČEK, J. Plasma torch and charging feeder assembly. Ostrava: Department of Production Machinery and Construction, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2012, 53 p. Master thesis, head Ing. Noga, Z., CSc.

The Master thesis deals with the design of plasma torch with a dependent arc and hollow cathode, allowing the use of three types of charge – rod, wire, grain, using three types of feeders. In the construction design was used methodical process and working experience with full cathode torch. The design was used for FEM analysis of thermal and stress analysis of cathode stack and charge stand.

# Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a zkratek .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Zhodnocení stávajícího stavu .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Požadavkový list .....</b>	<b>7</b>
3.1. Zadané požadavky .....	7
3.2. Vyspecifikované požadavky .....	7
<b>4. Návrh plazmového hořáku .....</b>	<b>9</b>
4.1. Funkční struktura plazmového hořáku.....	9
4.2. Morfologická matice plazmového hořáku .....	10
4.3. Orgánová struktura .....	10
4.4. Hrubá stavební struktura .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.5. Výpočet chlazení plazmového hořáku .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
4.6. Popis konstrukce plazmového hořáku .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
<b>5. Návrh rámu plazmového hořáku.....</b>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
5.1. Funkční a orgánová struktura rámu .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
5.2. Morfologická matice rámu .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
5.3. Hrubá stavební struktura rámu .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
5.4. Popis konstrukce .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
<b>6. Podavače drátu .....</b>	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
6.1. Způsoby podávání drátu.....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
6.2. Výběr podavače drátu .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>
6.3. Návrh připojení podavače drátu k hořáku .....	<i>Chyba! Záložka není definována.</i>

6.4.	Popis konstrukce připojení podavače drátu k hořáku.....	<b><i>Chyba! Záložka není definována.</i></b>
<b>7.</b>	<b>Podavač tyčí .....</b>	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
7.1.	Výpočty podavače tyčí.....	<b><i>Chyba! Záložka není definována.</i></b>
7.2.	Popis konstrukce podavače tyčí .....	<b><i>Chyba! Záložka není definována.</i></b>
<b>8.</b>	<b>Podavač zrna.....</b>	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
8.1.	Způsoby podávání zrna .....	<b><i>Chyba! Záložka není definována.</i></b>
8.2.	Návrh podavače zrna .....	<b><i>Chyba! Záložka není definována.</i></b>
8.3.	Výpočty podavače zrna.....	<b><i>Chyba! Záložka není definována.</i></b>
8.4.	Popis konstrukce podavače zrna .....	<b><i>Chyba! Záložka není definována.</i></b>
<b>9.</b>	<b>Spojení plazmového hořáku s pecí.....</b>	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
<b>10.</b>	<b>Tepelná analýza duté katody .....</b>	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
<b>11.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>13</b>
	<b>Seznam použité literatury a zdrojů .....</b>	<b>3</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$D$	Velký průměr potrubí	$[m]$
$D_m$	Střední průměr pružiny	$[m]$
$F$	Síla	$[N]$
$G$	Tíha	$[N]$
$L_0$	Délka pružiny ve volném stavu	$[m]$
$L_n$	Přípustné stlačení	$[m]$
$M$	Kroutící moment	$[Nm]$
$O$	Obvod průřezu	$[m]$
$P$	Tepelný výkon	$[W]$
$R$	Poloměr kladky	$[m]$
$S$	Plocha	$[m^2]$
$V$	Objem vsázky	$[m^3]$
$Nu$	Nusseltovo kritérium	$[-]$
$Pr$	Prantlovo kritérium	$[-]$
$Re$	Reynoldsovo kritérium	$[-]$
$c_p$	Měrná tepelná kapacita	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
$d$	Malý průměr potrubí	$[m]$
$f$	součinitel tření mezi kladkou a tyčí	$[-]$
$g$	Tíhové zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
$k$	Absolutní drsnost stěny potrubí	$[mm]$
$k$	Tuhost pružiny	$[N \cdot m^{-1}]$
$l$	Délka	$[m]$
$m$	Hmotnost	$[kg]$
$\dot{m}$	Hmotnostní tok	$[kg \cdot s^{-1}]$
$p_z$	Tlakové ztráty třením	$[Pa]$

$t$	Čas	$[s]$
$t$	Teplota katody	$[K]$
$v$	Rychlost proudění	$[m \cdot s^{-1}]$
$\alpha$	Součinitel přestupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$\eta$	Dynamická viskozita	$[Pa \cdot s^{-1}]$
$\lambda$	Součinitel tření	$[-]$
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
$\rho$	Hustota	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\xi_m$	Ztrátový součinitel	$[-]$
$\Delta L$	Rozdíl délek před stlačením a po stlačení pružiny	$[m]$
$\Delta t$	Rozdíl teplot	$[K]$

Dolní indexy značí

$H_2O$	Voda
$STR$	Střední
celk	Celková
h	Hořák
po	Podavač
n	Nádoba
t	Tyč
p	Pružina
M	Motor
k	Kladka
tav	Tavba



# 1. Úvod

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci[1], která se zabývá konstrukcí plazmového hořáku, používaného v laboratoři Katedry neželezných kovů, rafinace a recyklace FMMI VŠB-TU Ostrava.

Pro potřebu laboratoří budovaných v rámci projektu RMTVC vznikl požadavek navrhnout plazmový hořák s podáváním vsázky jeho dutou katodou. Tento plazmový hořák má rozšiřovat možnosti laboratorní pece tak, že výsledná slitina bude obsahovat více prvků. Také má umožňovat řízení tavby při vysokých teplotách.

V současné době jsou používány v laboratoři dva podavače. Priorita byla přetvořit horizontální krystalizátor na vertikální, aby se mohl vytvořit materiálový vzorek. Podstata této diplomové práce spočívá však v použití čistých kovů pro tavbu, a tudíž se nemusí použít vsázka z krystalizátoru.

## **2. Zhodnocení stávajícího stavu**

Plazmový hořák, používaný v laboratoři Katedry neželezných kovů, rafinace a recyklace FMMI VŠB-TU Ostrava byl inovován a na základě bakalářské práce[1] vyroben prototyp tohoto inovovaného plazmového hořáku, který je předmětem dalšího zkoušení. Inovovaný hořák slouží lépe svým účelům pro práci v laboratoři.

Jedná se o plazmový hořák se závislým elektrickým obloukem. Tento typ hořáku pracuje s extrémně vysokými teplotami, které vznikají rozkladem molekul, při jejich průchodu elektrickým obloukem. Zdroj elektrického proudu má výkon 60kW.

Návrh plazmového hořáku s podáváním vsázky spočívá v úpravě rozměrů a částí inovovaného plazmového hořáku. Upravena bude především katoda, od ní se však odvíjí ostatní rozměry hořáku. Důraz bude kladen především na minimalizaci rozměrů. Rovněž bude navržen podavač vsázky. Vsázka, která bude do duté katody vstupovat, může být ve formě tyče, drátu nebo zrna. Přesnější informace o rozměrech a druhu vsázky budou specifikovány v požadavkovém listu níže. Dle druhu vsázky je nutné navrhnout tři typy podavače materiálu. Z toho vyplývá jednotné a snadné uchycení všech tří podavačů materiálu do plazmového hořáku.

### 3. Požadavkový list

Tyto požadavky musí zařízení splňovat. Uvedeny jsou požadavky pro plazmový hořák, podavač materiálu (pro tyč, drát i zrno) a také zkušební komoru.

#### 3.1. Zadané požadavky

- navrhnout konstrukci duté katody plazmového hořáku laboratorní pece pro tavení a rafinaci neželezných kovů
- při zpracování konstrukčního návrhu vycházet z inovovaného provedení plazmového hořáku
- pozornost věnovat zejména návrhu zařízení pro dávkování materiálu středem elektrody
- materiál pro tavení se bude dopravovat ve formě:
  - tyče o minimálním průměru 3mm a maximálním průměru 6mm
  - drátu o minimálním průměru 1mm a maximálním průměru 2,5mm
  - prášku - o zrnitosti minimálně 40 $\mu$ m a maximálně 3mm
    - o sypné hmotnosti 1,5 až 5 g.cm<sup>-3</sup>
- vstupní teplota vody 15°C – užitková voda
- výstupní teplota vody maximálně 30°C – nedojde k zanášení hořáku vodním kamenem nebo solí
- maximální výkon hořáku 60kW → hořák odvádí výkon 10kW, ostatní teplo se odvádí do pecního prostoru a do horizontálního krystalizátoru
- čelo hořáku volit z mědi → nejlepší poměr cena/ součinitel tepelné vodivosti
- minimalizovat počet částí hořáku
- těsnit potřebné části
- řídit průtok plynu
- řídit chlazení hořáku
- zajistit připojení k peci

#### 3.2. Vyspecifikované požadavky

##### *Plazmový hořák*

- provozní prostředí – laboratoř
- požadavek na konstrukci – jednoduchost
- požadavek na řízení – odborná obsluha
- snadné čištění systému

- uzpůsobit velikost hořáku vzhledem k maximálním rozměrům katody
- zajistit tuhost konstrukce připojení podavače k hořáku
- snadné připojení konce katody k podavači
- po uvedení za chodu změřit povrchové teplotní pole katody termovizní kamerou

### ***Podavač materiálu***

#### **Tyč**

- snadné uchycení tyče do podavače
- minimální odpad
- snadná doprava tyče do katody
- řízení rychlosti podávání tyče

#### **Drát**

- snadné uchycení drátu do podavače
- minimální odpad
- snadná doprava drátu do katody
- řízení rychlosti podávání drátu

#### **Zrno**

- snadná doprava prášku do katody
- řízení rychlosti dávkování prášku

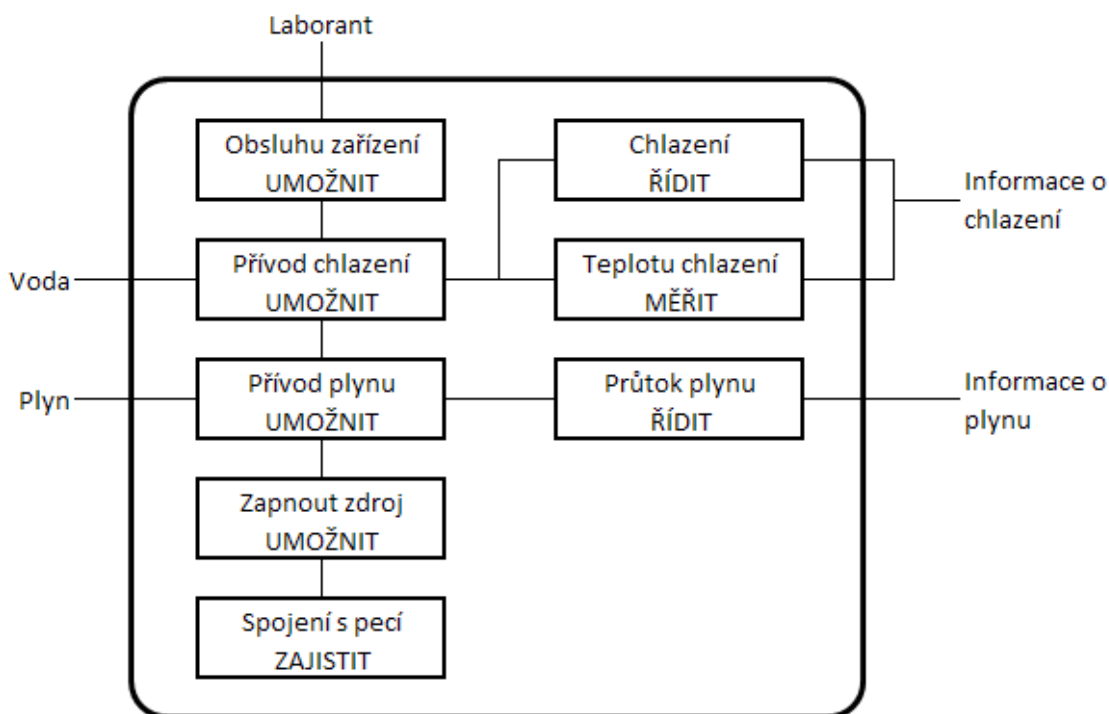
#### **Rám**

- dostatečná tuhost rámu
- nastavení výšky příruby připojení podavače
- nezávislost na nastavení vsunutí hořáku do pece
- souosost s dutou katodou hořáku
- snadné připojení všech tří podavačů materiálu
- hermetizace
- snadné připojení k plazmovému hořáku

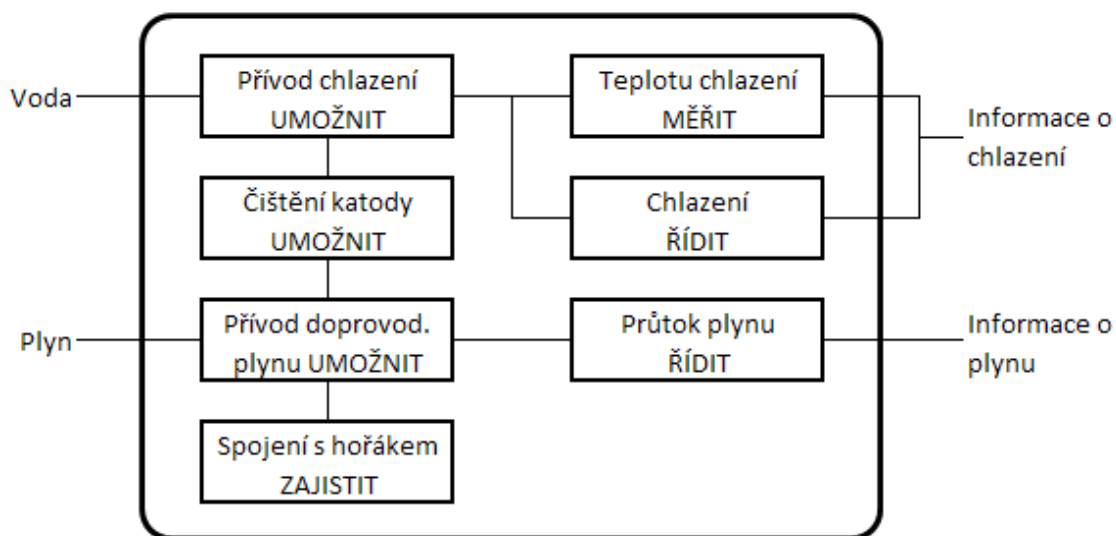
## 4. Návrh plazmového hořáku

### 4.1. Funkční struktura plazmového hořáku

Dle [2] je níže proveden rozbor funkční struktury. Ve funkční struktuře jsou uvedeny úkoly (funkce), které má dané zařízení plnit. Na obr. 1 je znázorněna funkční struktura plazmového hořáku a na obr. 2 funkční struktura duté katody. Jelikož je dutá katoda součástí hořáku, bude řešen její návrh zároveň s plazmovým hořákem.



Obr. 1: Schéma funkční struktury plazmového hořáku



Obr. 2: Schéma funkční struktury duté katody

## 4.2. Morfologická matice plazmového hořáku

Morfologická matice má za úkol přehledně znázornit jednotlivé možnosti způsobů řešení funkcí dílčími orgány. Z těchto řešení se pak vybírá to nejvhodnější řešení a v matici se zvýrazní. Je třeba brát ohled nejen na konstrukční jednoduchost řešení, ale i na cenu, proveditelnost, bezpečnost při provozu, atd. Níže v tab. 1 je uvedena morfologická matice plazmového hořáku a v tab. 2 morfologická matice duté katody.

Tab. 1: Morfologická matice plazmového hořáku

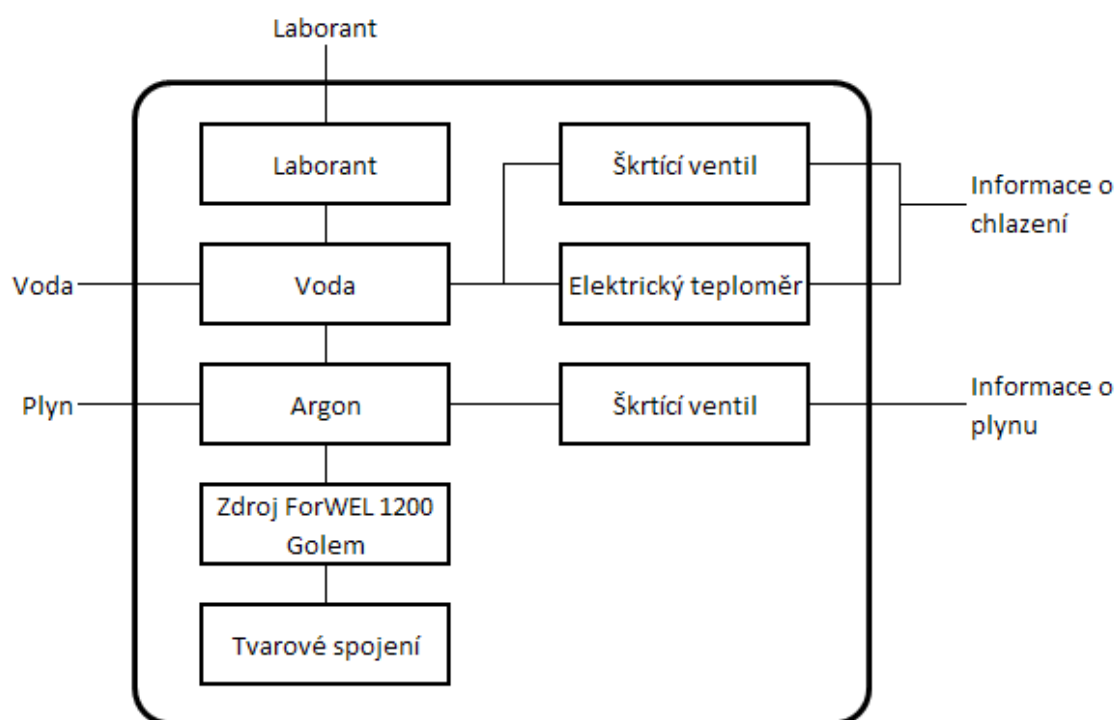
Dílčí funkce	Orgány nositelé funkcí				
	1	2	3	4	5
Obsluhu zařízení UMOŽNIT	Laborant				
Přívod chlazení UMOŽNIT	Voda	Vzduch	Tekutý dusík		
Chlazení ŘÍDIT	Tryska	Škrťací ventil	Clona	Průtokoměr	
Teplotu chlazení MĚŘIT	Bezkontaktní	Kontaktní			
	Pyrometr	Elektrický	Dilatační	Kapalinový	
Přívod plynu UMOŽNIT	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar		
Průtok plynu	Škrťací ventil	Průtokoměr			
Spojení s pecí ZAJISTIT	Tvarové spojení	Třecí spojení			
		Šroub	Klín	Pneumaticky	Hydraulicky

Tab. 2: Morfologická matice duté katody

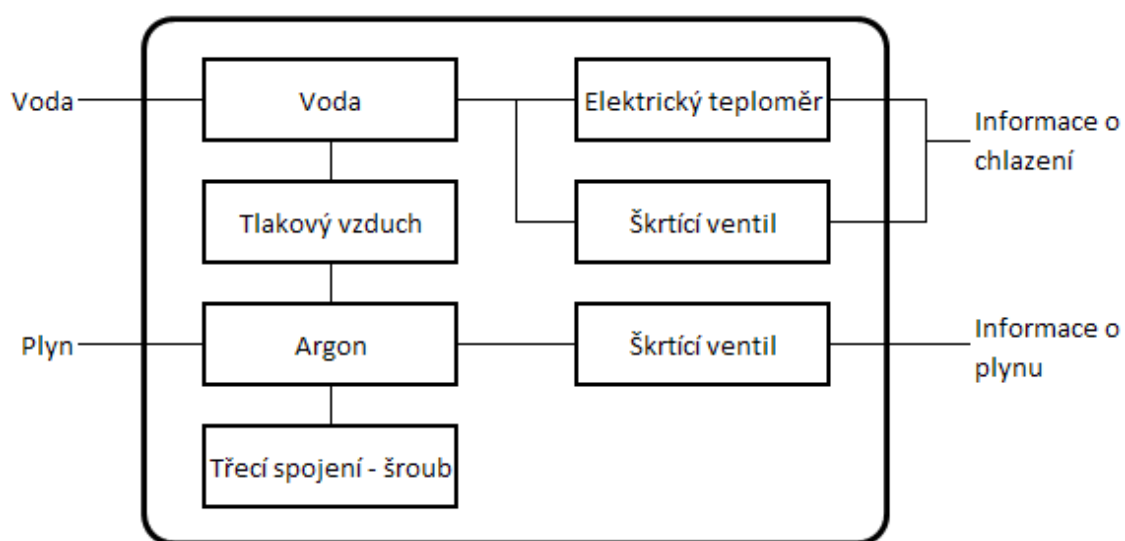
Dílčí funkce	Orgány nositelé funkcí				
	1	2	3	4	5
Přívod chlazení UMOŽNIT	Voda	Vzduch	Tekutý dusík		
Teplotu chlazení MĚŘIT	Bezkontaktní	Kontaktní			
	Pyrometr	Elektrický	Dilatační	Kapalinový	
ŘÍDIT	Škrťací ventil	Průtokoměr			
Čištění katody UMOŽNIT	Tlakovým vzduchem	Vodou	Mechanicky kartáč		
Spojení s hořákem ZAJISTIT	Tvarové spojení	Třecí spojení			
		Šroub	Klín	Pneumaticky	Hydraulicky

## 4.3. Orgánová struktura

Veškeré funkce jsou vykonávány příslušnými orgány, které lze vidět ve schématu orgánové struktury. Orgánovou strukturu plazmového hořáku lze vidět na obr. 3 a duté katody na obr. 4.



Obr. 3: Orgánová struktura plazmového hořáku



Obr. 4: Orgánová struktura duté katody

Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.



## 11. Závěr

Diplomová práce se zabývala konstrukcí plazmového hořáku používaného v laboratoři Katedry neželezných kovů, rafinace a recyklace FMMI VŠB-TU Ostrava.

Řešeno bylo několik na sebe navzájem navazujících konstrukčních uzlů. Návrh těchto konstrukčních uzlů se odvíjel od základních požadavků. Navržen byl plazmový hořák s dutou katodou, kde byly spočteny celkové tlakové ztráty. Důraz byl kladen především na dostatečné chlazení duté katody. To následně potvrdila teplotní analýza MKP v programu Ansys 12.1, kde byla zjištěna maximální teplota duté katody. Plazmový hořák má oproti předchozímu jednodušší konstrukci ústí.

Pro univerzální připojení všech tří podavačů materiálu byl navržen výškově stavitelný rám, zajišťující souosé podávání vsázky. Rám má dostatečnou tuhost a zajišťuje hermetické spojení plazmového hořáku se všemi třemi podavači vsázky. Tuhost rámu byla rovněž kontrolována metodou MKP.

Díky výběru podavače drátu Kühtreiber KIT 2-4 E PROCESSOR nebylo nutné navrhovat celý podavač, ale jen připojení eurokoncovky k rámu hořáku.

U podavače tyčí bylo vybráno optimální řešení a následně počítány silové poměry mechanismu, návrh tlačné pružiny, kladek, motoru. Řešena byla závislost času podání vsázky na otáčkách motoru podle průměru tyče. Podavač tyčí pracuje na principu nůžkového mechanismu s nastavitelnou silou přitlaku kladek, kde jedna z kladek je poháněna krokovým motorem.

U podavače zrna byly dvě varianty, kde byla rovněž vybrána vhodnější. Vypočtena byla potřebná velikost nádoby, která pak byla zkontrolována na podtlak metodou MKP. Nádoba je vyrobena z plexiskla a díky tomu lze snadno kontrolovat množství zrna. Součástí podavače zrna je rovněž krokový motor, který pohání šnek vsunutý do duté katody.

Konstrukční postupy byly mnohdy dosti komplexní, proto vyžadovaly plánovaný postup pro dosažení stanoveného cíle. Při návrhu byla snaha použít co nejvíce metodických postupů, aby se tak zvýšila efektivnost práce.

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] HAMÁČEK, J. Plazmový hořák. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 64 s. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Noga, Z., CSc.
- [2] HUBKA, Vladimír. *Konstrukční nauka-obecný model postupu při konstruování*. 2. přepracované a doplněné vydání přeložil a k vydání připravil Stanislav Hosnedl. 2.vyd. Zurich:Heurista, 1995. 118 s. ISBN 80-90 1135-0-8
- [3] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky – druhé doplněné vydání, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6
- [4] DRÁBKOVÁ, S., KOZUBKOVÁ. M.: Cvičení z mechaniky tekutin, VSB-TU Ostrava, katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení. Ostrava, 2002. 141 s.
- [5] DRÁBKOVÁ S., Mechanika tekutin, učební text, VŠB-TU Ostrava. Ostrava 2007. 257 s. ISBN 978-80-248-1508-4
- [6] *Sdílení tepla* [online]  
URL<<http://www.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k16.sdileni.tepla.pdf>> [citováno 26. února 2012]
- [7] *Obloukové svařování v ochranných atmosférách* [online]  
URL<[http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t2-15\\_obloukovesvarovanimigmag.pdf](http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t2-15_obloukovesvarovanimigmag.pdf)> [citováno 9.2.2012]
- [8] *Kurs MIG-MAG* [online]  
URL<<http://www.vossost.cz/pk/Data/PDF/Kurz%20MIG%20MAG.pdf>> [citováno 9.2.2012]
- [9] *Svařovací technika* [online]  
URL<[http://www.svarovacitechnikaanaradi.cz/podavac-dratu-kuhtreiber-kit-24-e-processor-\\_naradi\\_-329.html](http://www.svarovacitechnikaanaradi.cz/podavac-dratu-kuhtreiber-kit-24-e-processor-_naradi_-329.html)> [citováno 9.2.2012]
- [10] *Svarbazar* [online]  
URL<<http://svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2009071002>> [citováno 16.2.2012]
- [11] *Svarshoop* [online] URL<<http://svarshop.cz/wolframove-netavici-se-elektrody-pro-tig>> [citováno 5.4.2012]

### **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňku Nogovi, CSc. Za čas, trpělivost a příkladné vedení této diplomové práce.